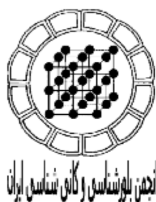
مجله
بلورشناسی و کانی‌شناسی ایران

سال بیست و هفتم، شمارۀ اول، بهار ۹۸، از صفحۀ ۵۵ تا ۶۸



توزیع اندازه‌ی درشت بلورهای لوئیسیت، پیروکسن و اولیوین در خروجی‌های حاشیه‌ی شرقی دریاچه‌ی ارومیه- بررسی احتمال هم‌آمیزی و زمان اقامت در اتاقک ماگمایی

منیر مجرد*

گروه زمین شناسی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه ارومیه

(دریافت مقاله: ۹۶/۱۱/۷، نسخه نهایی: ۹۷/۳/۲۲)

چکیده: منطقه‌ی مورد بررسی در فاصله‌ی ۱ کیلومتری شبه جزیره‌ی اسلامی در شرق دریاچه ارومیه و در نزدیکی روستای آق گنبد واقع است. سنگ‌ها وابسته به سنوزوئیک تا پلیوکواترنر با ترکیب فنولیت تا لوئیسیتیت با ماهیت شوشونیتی دارای الگوی جدایش یافته‌ای از عناصر خاکی نادر هستند، جایگاه زمین ساختی درون‌صفحه‌ای و مربوط به رخدادهای پس از برخورد داشته و برخی نشانه-های زمین‌شیمیایی اشاره به دخالت پوسته در ترکیب ماگمای مولد آن دارند. در این پژوهش درشت بلورهای لوئیسیت، پیروکسن و اولیوین موجود در این سنگ‌ها از دیدگاه توزیع اندازه‌ی بلور (CSD) بررسی شده است. منحنی‌های رسم شده برای بلورهای پیروکسن و اولیوین متفاوت با بلورهای لوئیسیت است. منحنی‌های پیروکسن و اولیوین بصورت خطی هستند که نشانگر تک‌نسل بودن آنهاست، در مقابل منحنی‌های رسم شده‌ی بلورهای لوئیسیت بصورت شکسته و انحنادار هستند که نشان از دونسل بودن آنها و رخدادهم‌آمیزی ماگمایی دارد. میانگین زمان لازم برای تشکیل هسته، درشت شدگی (با در نظر گرفتن سرعت رشد متوسط کانی‌های سیلیکاتی $G = 10^{-11}$ cm/s) و اقامت در اتاقک ماگمایی برای بلورهای دانه‌درشت لوئیسیت و بلورهای پیروکسن حدود ۲۰۰ سال و برای بلورهای الیوین و بلورهای دانه‌ریز لوئیسیت کمتر از ۱۰۰ سال بوده است. با محاسبه عرض از مبداء نمودارهای نام برده مشخص شد که دست کم ۱۲ هسته سیلیکاتی در واحد زمان در لانه ماگمایی در حال بسته شدن بوده است.

واژه‌های کلیدی: *CSD؛ لوئیسیت؛ پیروکسن؛ اولیوین؛ نرخ هسته‌بندی؛ زمان رشد.*

مقدمه

در سنگ‌های آتشفشانی که سرعت سرد شدن، تبلور و نرخ هسته‌بندی آنها بالاست، ریزسنگ‌ها و درشت بلورها اغلب در کنار هم دیده می‌شوند و بافت تمام‌بلورین ندارند. شرایط برای سنگ‌های درونی به علت سرد شدن در اعماق و برخورداری از فرصت بیشتر برای رشد و هسته‌بندی، کاملاً متفاوت است. یکی از رایج‌ترین روش‌های تعیین کمّی بافت سنگ، بررسی چگونگی توزیع اندازه بلورها در مقاطع نازک و برش‌های دستی (تختال‌ها) است. بررسی توزیع اندازه بلورها (CSD) به عنوان روش کمّی در بافت‌شناسی سنگ‌های آذرین به اندازه‌گیری دانه‌ها و بررسی شکل و تعداد بلورها می‌پردازد [۱]. با استفاده از این روش می‌توان سه ویژگی اصلی بافت‌های سنگ‌های آتشفشانی شامل توزیع اندازه بلور، توزیع سه بعدی بلور و شکل بلورها و حفره‌ها را به طور کمّی تعیین کرد [۱]. روش CSD توسط کشمن و همکارش [۲] معرفی شد و سپس توسط دیگران توسعه یافت [۳-۵]. البته رندولف و همکارش [۶] از نخستین پژوهشگرانی بودند که پیشتر کاربرد روش اندازه‌گیری توزیع اندازه بلور در گدازه‌ها را معرفی کرده بودند. استفاده از روش کاربردی CSD در بررسی سنگ‌های آذرین در ایران از قدمت چندانی برخوردار نیست، چرا که خود مدل نیز در بررسی‌های سنگ شناسی سنگ‌های آذرین و دگرگونی

*نویسنده مسئول، تلفن: ۰۹۱۴۳۴۵۰۴۵۲، نمابر: ۳۲۷۷۶۷۰۷-۰۴۴، پست الکترونیکی: m.modjarrad@urmia.ac.ir

[DOI: 10.29252/ijcm.27.1.55]

قدمت چندانی ندارد، ولی می‌توان به پژوهش‌های معدودی درباره سنگ‌های دگرگونی [۷- ۱۰] و یا سنگ‌های آذرین خروجی [۱۱-۱۳] اشاره کرد.

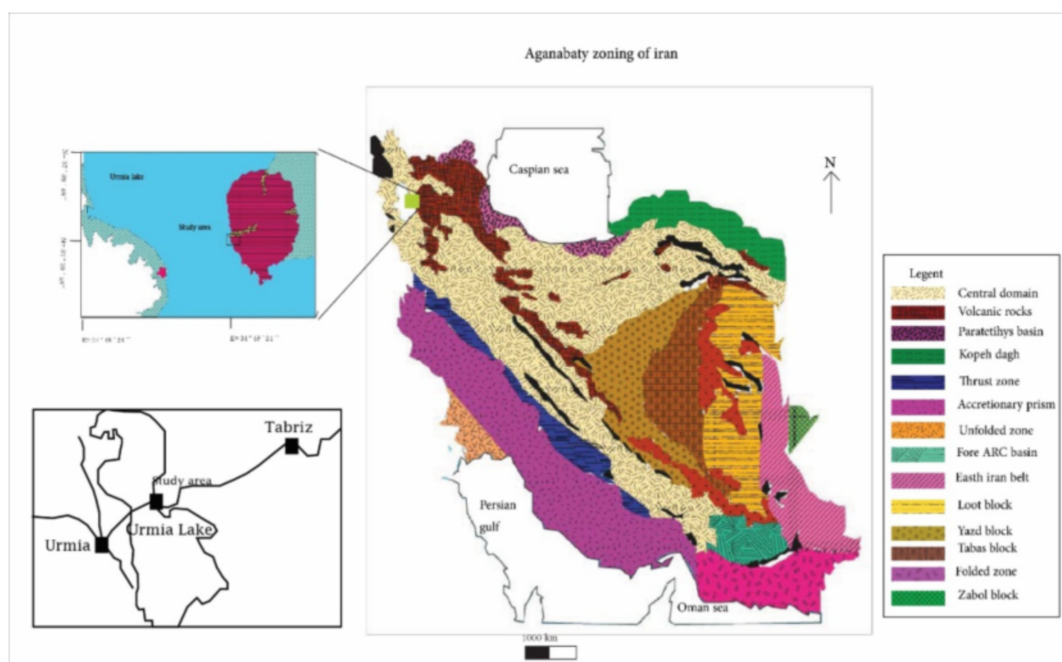
فرایندهای وابسته به اتاقک‌های ماگمایی را می‌توان با بررسی نمونه‌های گدازه در سنگ‌های آتشفشانی و یا در سنگ‌های آذرین درونی که فرآورده نهایی کاملاً منجمد و سخت شده‌اند، مورد بررسی کرد. چنین نمونه‌هایی معمولاً با تجزیه‌های ایزوتوپی و شیمیایی به طور کمی و با مشاهدات بافتی به طور کیفی بررسی می‌شوند. البته برخی از جنبه‌های وابسته به بافت سنگ‌ها را می‌توان به طور کمی نیز بررسی کرد. معمولی‌ترین روش استفاده از تعیین توزیع و پراکندگی اندازه‌ی ذرات (CSD) است. این روش می‌تواند روشی نوین برای بررسی فرایندهای اتاقک ماگمایی در اختیار ما بگذارد [۱۱].

هدف از انجام این پژوهش، بررسی CSD سنگ‌های آذرین خروجی و برآورد زمان‌های اقامت ماگما در محفظه‌های درونی، در گستره‌های سرعت رشد (G) تعیین شده و به دست آوردن نرخ هسته‌بندی بلورهاست. نتایج به دست آمده می‌تواند هم‌آمیزی ماگمایی در برخی بلورها، تفاوت در نرخ هسته بندی و سرعت رشد بلورها را تائید کند.

زمین‌شناسی منطقه

منطقه‌ی مورد بررسی در کرانه‌ی شرقی دریاچه‌ی ارومیه، در فاصله‌ی ۱ کیلومتری جزیره‌ی اسلامی و در فاصله‌ی ۵۰۰ متری روستای آق گنبد واقع است (شکل ۱). شبه جزیره اسلامی مربوط به دوران سنوزوئیک بوده و در اصل در دوره ائوسن- میوسن و پلیوکواترنری رخ داده است. دو گسل اصلی در جزیره اسلامی با راستاهای NNW-SSE (گسل تیمورلو- گمیچی) و ENE-WSW (گسل سارای- آق گنبد) حضور دارند و محل تلاقی آنها تقریباً بر بخش مرکزی جزیره منطبق است. بررسی نتایج مغناطیس هوایی در جزیره نشانگر خطواره مهمی در پی سنگ و با راستای NNE-SSW است. این خطواره احتمالاً ادامه تقریبی گسل شاخه شرقی ارس یا گسله آپشرون- پالمیر است و به نظر می‌رسد که در ایجاد طرح ساختاری شبه جزیره اسلامی، نقش مهمی داشته است.

به دلیل ارتباط و همبستگی‌های مختلفی که سنگ‌های در راستای این خطواره با سنگ‌های جزیره‌ی اسلامی دارند (از نظر سنگ نگاری، بافتی، واحدهای سنگ‌شناسی)، این منطقه نیز جزو فعالیت‌های آتشفانی جوان ایران محسوب می‌شود. بر اساس بررسی‌های صحرایی انجام شده، واحدهای سنگ شناسی در این منطقه بصورت متناوب روی هم قرار گرفته‌اند و تناوبی از سنگ‌های تفریت- بازانیت، فنولیت تفریتی روی هم دیده می‌شود که در بین این دو نوع سنگ، گروهی از سنگ‌های لوئیسیتیت نیز قابل مشاهده است. این تناوب در قرارگیری سنگ‌ها نشان دهنده‌ی وقفه‌ای در خروج ماگمای سازنده‌ی آنهاست (این مطلب توسط بررسی‌های CSD تایید شده است).



شکل ۱ نقشه‌ی جایگاه منطقه‌ی آق گنبد و راه‌های دسترسی به منطقه [۱۴].

[DOI: 10.29252/ijcm.27.1.55]

چنان که پیشتر بیان شد، این منطقه از بسیاری جنبه‌ها مشابه با جزیره‌ی اسلامی اسلامی و می‌توان این فرضیه را بیان کرد که ماگمای سازنده‌ی این توده‌ی آتشفشانی در واقع بصورت توده‌ای تزریقی به سمت جزیره‌ی اسلامی است که احتمالاً در اثر فعالیت‌های زمین ساختی از قبیل گسل آق گنبد- سارای از این مکان خارج شده است. سن مطلق برای سنگ‌های تفریتی و بازانیتی جزیره اسلامی براساس روش K-Ar بر تک کانی حدود ۸ تا ۶٫۵ میلیون سال اندازه‌گیری شده است [۱۵].

روش بررسی

پس از سنگ نگاری دقیق نمونه‌های مورد بررسی، تعداد ۸ نمونه از سنگ‌های سالم و با کمترین دگرسانی جهت تجزیه عناصر اصلی و فرعی به آزمایشگاه Actlabs کانادا ارسال گردید. تجزیه عناصر اصلی به روش طیف‌سنجی فلئورسانس پرتوی X (XRF) و عناصر فرعی توسط طیف‌سنجی جرمی پلاسمای جفت شده القایی (ICP-MS) انجام شد. نتایج بدست آمده از ۱۰ اکسید اصلی، ۲۱ عنصر فرعی و ۱۴ عنصر خاکی نادر (REE) در جدول‌های ۱ تا ۳ آورده شده است. برای بررسی کمی توزیع اندازه بلور، نخست از نمونه‌های سنگی مقاطع نازک تهیه شد. سپس از مقاطع تهیه شده با عدسی ۲٫۵ عکس‌برداری دیجیتالی صورت گرفت. عکس‌های گرفته شده از مقاطع با استفاده از نرم افزار فتوشاپ بصورت موزائیکی در کنار هم قرار داده شدند تا تصویری کامل از کل مقطع نازک سنگ فراهم شود. سپس لبه‌های بلورهای مورد نظر با استفاده از نرم افزار Illustrator بصورت باینری رسم و با فرمت JPEG ذخیره شدند و این تصاویر وارد نرم افزار Digimizer شده و تحلیل شدند. داده‌های به دست آمده وارد نرم افزار CSD Corrections شده و پس از وارد کردن مقیاس‌های لازم، سرانجام نمودارهای CSD رسم شدند.

جدول ۱ نتایج تجزیه شیمیایی ۱۰ اکسید عنصر اصلی به روش XRF (فراوانی اکسیدها برحسب درصد وزنی).

نمونه	SM6	SM4	SM3	SM0	S5	S4	S3	S2
SiO_2	۴۸٫۵۴	۴۶٫۱۱	۵۱٫۴۲	۴۶٫۶۳	۵۲٫۱۶	۵۱٫۶۰	۵۰٫۲۹	۴۸٫۲۴
Al_2O_3	۱۲٫۸۵	۱۳٫۲۳	۱۱٫۶۹	۱۱٫۴۹	۱۲٫۲۶	۱۲٫۷۰	۱۲٫۳۹	۱۲٫۲۵
Fe_2O_3	۱۰٫۲۰	۸٫۸۵	۷٫۸۶	۸٫۳۴	۷٫۹۷	۷٫۳۳	۷٫۷۸	۸٫۳۸
MnO	۰٫۲۰	۰٫۱۶	۰٫۱۳	۰٫۱۴	۰٫۱۴	۰٫۱۳	۰٫۱۸	۰٫۱۴
MgO	۴٫۴۵	۷٫۸۹	۷٫۱۳	۷٫۳۳	۵٫۴۲	۵٫۵۲	۶٫۳۵	۶٫۶۱
CaO	۸٫۷۷	۱۰٫۵۵	۹٫۸۰	۱۰٫۰۹	۹٫۶۶	۷٫۷۸	۹٫۱۴	۷٫۵۶
Na_2O	۳٫۴۳	۳٫۱۰	۲٫۲۶	۵٫۱۴	۱٫۸۴	۲٫۴۴	۲٫۰۳	۴٫۳۹
K_2O	۳٫۶۵	۰٫۹۵	۴٫۶۱	۰٫۲۷	۵٫۸۹	۴٫۹۵	۵٫۱۴	۱٫۵۸
TiO_2	۱٫۲۶	۱٫۱۹	۱٫۰۸	۱٫۲۱	۱٫۱۲	۱٫۰۲	۱٫۰۹	۱٫۱۳
P_2O_5	۱٫۲۵	۱٫۵۳	۱٫۵۱	۱٫۵۸	۱٫۵۰	۱٫۵۷	۱٫۴۵	۱٫۲۸
افت گرمایی	۴٫۶۱	۷٫۱۸	۲٫۹۶	۶٫۳۴	۲٫۳۴	۳٫۶۳	۲٫۶۳	۷٫۰۶
مجموع	۹۹٫۲۲	۱۰۰٫۵	۱۰۰٫۵	۹۸٫۵۵	۱۰۰٫۳	۹۸٫۶۶	۹۸٫۴۹	۹۸٫۶۱

جدول ۲ نتایج تجزیه شیمیایی ۱۴ عنصر خاکی نادر(REE) به روش ICP-MS (فراوانی عناصر برحسب ppm).

نمونه	SM6	SM4	SM3	SM0	S5	S4	S3	S2
La	۱۱۱	۴۰٫۸	۳۳٫۸	۶۳٫۲	۳۸٫۸	۳۷٫۴	۳۶٫۸	۵۸٫۶
Ce	۲۳۳	۹۶٫۹	۷۷٫۴	۱۵۱	۹۲٫۵	۸۴٫۹	۸۶٫۱	۱۲۵
Pr	۲۷٫۳	۱۲٫۰۷	۹٫۷۲	۱۶٫۸	۱۲٫۳	۱۰٫۷	۱۱٫۴	۱۵٫۱
Nd	۱۰۹	۵۵٫۶	۴۲٫۸	۶۷٫۷	۵۲٫۷	۴۵٫۴	۴۹٫۳	۶۱٫۷
Sm	۲۱٫۱	۱۱٫۹	۹٫۴	۱۴٫۴	۱۱٫۶	۹٫۸	۱۰٫۳	۱۳٫۳
Eu	۴٫۶	۲٫۵۶	۲٫۰۲	۳٫۱۰	۲٫۳۷	۲٫۱۵	۲٫۲۱	۲٫۹۴
Gd	۱۴٫۷	۸٫۸	۶٫۹	۹٫۹	۸٫۱	۷٫۲	۷٫۶	۹٫۹
Tb	۱٫۷	۱٫۰	۰٫۹	۱٫۳	۱٫۰	۰٫۹	۰٫۹	۱٫۲
Dy	۸٫۲	۵	۴٫۶	۶	۴٫۷	۴٫۴	۴٫۴	۵٫۸
Ho	۱٫۴	۰٫۹	۰٫۷	۱٫۰	۰٫۸	۰٫۷	۰٫۸	۰٫۹
Er	۳٫۶	۲٫۳	۲٫۰	۲٫۴	۲٫۲	۲٫۰	۲٫۰	۲٫۵
Tm	۰٫۴۶	۰٫۳۲	۰٫۲۶	۰٫۳۲	۰٫۳	۰٫۲۷	۰٫۲۷	۰٫۳۳
Yb	۲٫۸	۱٫۹	۱٫۵	۱٫۹	۱٫۸	۱٫۶	۱٫۶	۲٫۰
Lu	۰٫۴۰	۰٫۲۷	۰٫۲۴	۰٫۲۶	۰٫۲۶	۰٫۲۵	۰٫۲۴	۰٫۲۸

[DOI: 10.29252/ijcm.27.1.55]

جدول ۳ نتایج تجزیه شیمیایی ۲۱ عنصر فرعی به روش ICP-MS (فراوانی عناصر برحسب ppm).

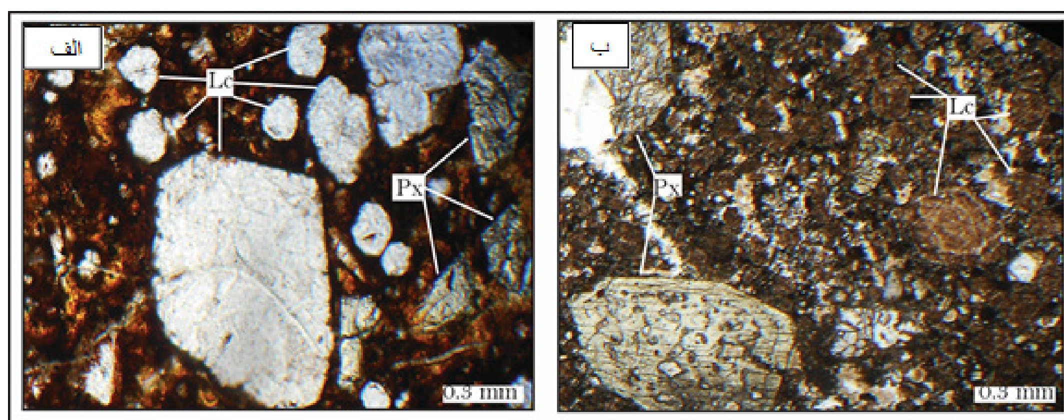
نمونه	SM6	SM4	SM3	SM0	S5	S4	S3	S2
Ba	۲۷۳۷	۱۶۹۳	۲۳۶۰	۷۸۴	۱۸۷۳	۲۴۳۳	۱۷۴۷	۳۰۳۹
Sr	۱۳۶۴	۶۲۶	۷۳۴	۶۵۳	۶۵۵	۷۳۹	۶۴۱	۹۵۸
Y	۳۵	۲۳	۲۱	۲۴	۲۲	۲۱	۲۱	۲۸
Zr	۶۱۴	۳۱۰	۲۸۹	۳۵۹	۲۹۴	۲۹۶	۲۹۴	۴۶۷
Cs	۷۸٫۴	۶۹۸	۴۴٫۰	۱۰۲	۷٫۹	۸۳٫۳	۳۲٫۹	۱۰۶
Cr	۲۰	۲۷۰	۲۴۰	۲۱۰	۲۵۰	۱۵۰	۱۹۰	۲۱۰
Nb	۶۰	۳۹	۳۴	۴۷	۳۹	۴۱	۴۰	۴۷
Ag	۱٫۱	۱٫۰	۰٫۵	۰٫۵	۰٫۹	۰٫۹	۰٫۹	۱٫۳
Sn	۱۲	۲۵	۷	۷	۹	۹	۱۰	۱۰
Sc	۲۰	۳۴	۳۱	۲۸	۳۱	۲۲	۲۶	۲۲
Be	۱۳	۱۲	۹	۵	۱۲	۱۰	۱۱	۱۳
V	۲۸۹	۱۶۸	۲۱۶	۱۷۸	۲۳۰	۲۱۰	۲۰۷	۱۹۶
Co	۲۸	۳۲	۲۷	۳۳	۳۰	۲۷	۲۹	۳۱
Ni	۲۰	۷۰	۵۰	۵۰	۴۰	۴۰	۴۰	۵۰
Cu	۲۱۰	۷۴۰	۹۰	۸۰	۱۰۰	۱۲۰	۱۲۰	۹۰
Zn	۱۲۰	۹۰	۷۰	۸۰	۸۰	۸۰	۸۰	۹۰
Ga	۲۱	۱۶	۱۴	۱۶	۱۷	۱۸	۱۷	۱۷
Rb	۱۴۹	۶۱	۵۹	۱۳۰	۱۵۷	۶۸	۱۲۰	۲۸۹
Hf	۷٫۸	۷٫۶	۴٫۹	۲٫۶	۷٫۴	۶٫۴	۶٫۷	۹٫۲
Ta	۲٫۹	۲٫۱	۱٫۷	۲٫۳	۲٫۱	۲	۲	۲٫۳
Mo	۲	۳	۲	۲	۴	۳	۴	۲
W	۳	۴	۱	۱	۱۰	۵	۴	۴
Pb	۷۰	۲۰	۲۲	۳۸	۲۲	۲۸	۲۱	۴۵
Th	۶۰٫۹	۳۲٫۸	۲۰٫۹	۳۵٫۳	۳۲٫۴	۲۷٫۲	۳۱٫۶	۴۵٫۷
U	۵	۵٫۱	۷٫۰	۰٫۸	۱۲٫۰	۸٫۳	۱۱٫۱	۱۰٫۵

بحث و بررسی

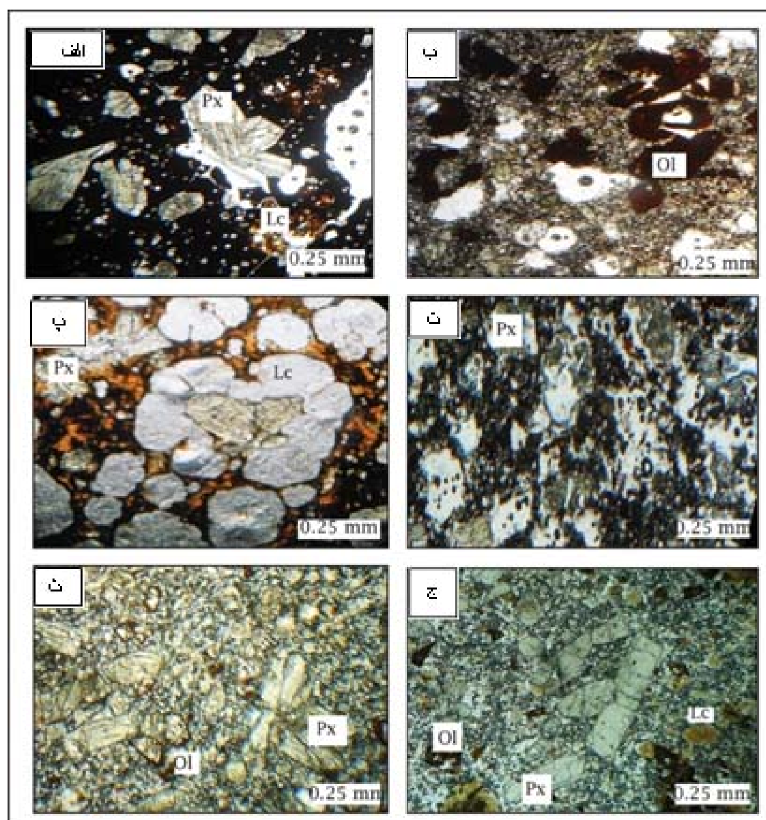
سنگ نگاری

بررسی‌های سنگ نگاری نشان می‌دهد که سنگ‌های این ناحیه از نوع زیر اشباع از سیلیس هستند. در این سنگ‌ها که در سنگ نگاری از نوع بازالت‌های لوئیسیت – پیروکسن‌دار به نظر می‌رسند، درشت بلورهایی از لوئیسیت، پیروکسن، اولیوین و پلاژیوکلاز زونه وجود دارد که در اندازه‌های متغیر ۰٫۲۵ تا ۲٫۵ میلی متری در متن سنگ قرار دارند (شکل ۲). گاهی اندازه‌ی درشت بلورهای اولیوین و پیروکسن گاهی چنان بزرگ‌اند که در نمونه‌های دستی قابل مشاهده‌اند. در همه مقاطع تهیه شده از سنگ‌ها که با میکروسکوپ بررسی شدند، دیده می‌شود که بلورهای پیروکسن در هر اندازه‌ای حالت شکسته شده‌ای و بافت غربالی دارند (شکل ۲ ب) که شاهدی برای هم‌آمیزی ماگمایی است. بلورهای اولیوین حالت دگرسان شده دارند و ایدنگزیتی شده‌اند. اولیوین‌ها در بخش‌های درونی از بین رفته‌اند و قالب خارجی از آنها به جای مانده است. در بسیاری از مقاطع دیده شده است که بلورهای لوئیسیت حالت تیره رنگی را پیدا کرده و در حال تبدیل شدن به آنالسیم هستند که دلیل آن، مجاورت لوئیسیت با محلول آب نمک (و یا آب دریاچه) است (شکل ۲). بلورهای پلاژیوکلاز بصورت دانه ریز و ریزسنگی در زمینه قرار گرفته‌اند. غالب‌ترین نوع بافت‌هایی که در این سنگ‌ها به چشم می‌خورد (شکل ۳) عبارتند از: ویتروفیری، پورفیری، حفره‌ای، میان دانه‌ای، موازی هم رشدی و مشبک. حالت غربالی پیروکسن‌ها با لبه‌های دندانه دار و نیز منطقه بندی پلاژیوکلازها می‌توانند در نتیجه هم‌آمیزی دو ماگما ایجاد شده باشد.

[DOI: 10.29252/ijcm.27.1.55]



شکل ۲ تصاویر میکروسکوپی از کانی‌های مشاهده شده در سنگ لوئیسیتیت (در نور PPL): الف) بلورهای تبلور یافته در زمینه‌ای از شیشه‌ی آتشفشانی، که لوئیسیت‌ها بصورت بلوری خودشکل در زمینه تبلوریافته‌اند. پیروکسن بلوری با رنگ سبز سیبی است که بصورت کانی فرعی در سنگ حضور دارد. ب) بلورهای لوئیسیت که به دلیل تبدیل شدن به آنالسیم با رنگ قهوه‌ای ظاهر شده اند. پیروکسن بصورت کانی خود شکل در متن سنگ مشخص است.



شکل ۳ تصاویر میکروسکوپی از سنگ‌های زیر اشباع از سیلیس مشاهده شده در منطقه در نور PPL. بلورهای لوئیسیت، پیروکسن و اولیوین در متن سنگ بصورت درشت بلورهای مشخص حضور دارند. بلورهای پلاژیوکلاز بصورت دانه ریز و ریزسنگی در زمینه‌ای با بافت پورفیری به همراه پیروکسن‌های ریزسنگی حضور دارد. بافت‌های مشاهده شده در سنگ‌ها: الف) بافت ویتروفیری، ب) بافت پورفیری، پ) بافت مشبک، ت) بافت حفره ای، ث: بافت موازی هم‌رشدی، ج) بافت میان دانه‌ای.

زمین‌شیمی

نمونه‌های ساحل شرقی دریاچه ارومیه از نظر اکسید عناصر اصلی در گستره تفریت و فنوتفریت و با استفاده از عناصر جزئی در نمودار Nb/Y نسبت به Zr/Ti در بخش تفریت فنولیتی و فوئیدیت (لویسیتیت)ها قرار می‌گیرند (شکل ۴ الف). همچنین برای تعیین سری زمین‌شیمیایی ماگمای مولد این سنگ‌ها از

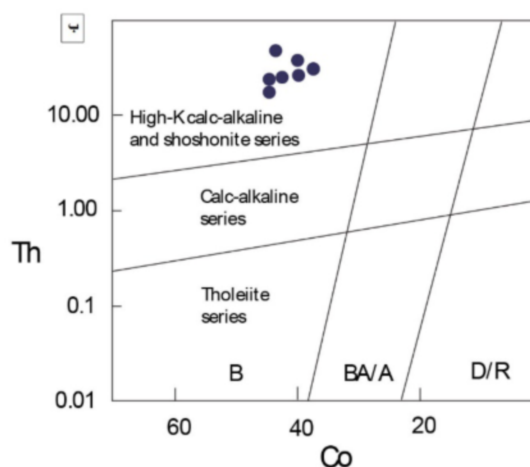
[DOI: 10.29252/ijcm.27.1.55]

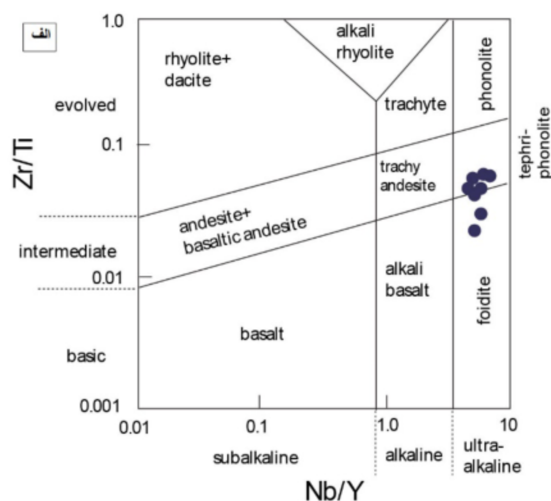
نمودار Th نسبت به Co استفاده شده که نمونـه‌هـا در گـستره شوشونیتی و پتاسیم بالا قرار گرفته‌اند [۱۷،۱۶] (شکل ۴ ب).

در بررسی الگوی عناصر خاکی نادر رسم شده برای سـنگ-های تفریتی منطقه، همه نمونه‌ها یک روند کـاملاً هماهنـگ را نشان می‌دهند [۱۸-۲۰] (شکل ۵ الف) که از عناصر خاکی نادر سبک (LREEs) غنی‌شدگی و از عناصر خـاکی نـادر سـنگین (HREEs) تهی‌شدگی دارند و نشان دهنده‌ی هم‌ماگمـا بـودن این نمونه‌هاست. تراکم‌های بسیار بـالای LREE، درجـه پـایین ذوب‌بخشی با یک خاستگاه غنی‌شده از عناصر LREE را نـشان می‌دهد. تهی‌شـدگی از HREEs بیـانگر بـاقی‌مانـدن گارنـت و زیرکن در تفاله ذوب است. غنـی‌شـدگی از LREE نـسبت بـه HREE مشخصه‌ی سـنگ‌هـای قلیـایی و آهکـی‌قلیـایی اسـت [۲۱- ۲۳]. بالا بودن نسبت LREE/HREE نشان دهنده‌ی بالا بودن نسبت CO_2/H_2O در خاستگاه، عمق بیشتر تولید ماگما و خاستگاه گارنت‌دار لرزولیتی و یا پدیـده جـدایش اسـت. وقتـی ذوب در اعماق بیشتری صورت گیرد به دلیل وجـود گارنـت در خاستگاه این کانی عناصر HREE را جمع کرده و از ورود آن‌ها به مایعات برآمده از ذوب‌بخـشی جلـوگیری مـی‌کنـد، بنـابراین نسبت LREE/HREE در فاز تفاله کاهش می‌یابد. غنی‌شـدگی از LREE نسبت به HREE نشان دهنده‌ی تبلوربخشی پـایین و عمق زیاد ذوب‌بخشی در سـنگ‌هـای زیـر اشـباع از سـیلیس منطقه است.

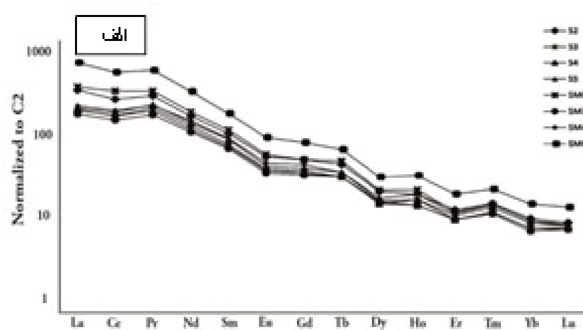
به منظور رسم نمودار عنکبوتی سنگ‌های منطقه، آنها نسبت به کندریت بهنجار شدند. الگوی پراکندگی عناصر خاکی نادر در سنگ‌های مختلف تا حدی متفاوتند و سنگ‌های منطقه از عناصر LREEs غنی‌شدگی نشان می‌دهند (شکل ۵ ب).

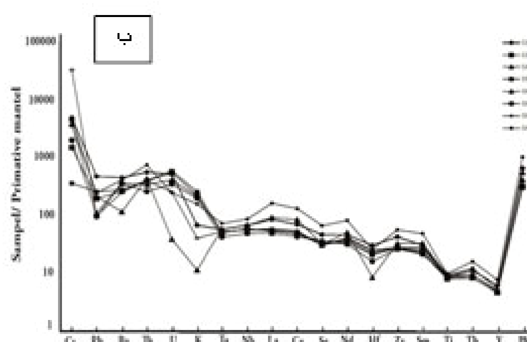
ازآنجاکه LREEها تا حدی ناسازگارتر از HREEها هستند [۲۴]، ممکن است در اثر دگرگونی‌های ماگمایی در سنگ‌های منطقه متمرکز شده باشند (شکل ۵ الف). غنی‌شدگی Th، Rb و Ba (عناصر گروه پتاسیم) نشانه‌ی ترکیب اولیه غیریکسان یا آلودگی پوسته‌ای طی صعود [۲۵] و یا شاید هم‌آمیزی ماگماهاست.





شکل ۴ الف) نمودار Zr/Ti نسبت به Nb/Y از [۱۶] و ب) نمودار Th نسبت به Co [۱۷].





شکل۵ الف) نمودار REE بهنجار شده نسبت به کندریت [۱۸] و ب) نمودار عنکبوتی بهنجار شده نسبت به گوشته اولیه [۱۹].

[DOI: 10.29252/ijcm.27.1.55]

در نمودار شکل ب ناهنجاری مثبت، Pb و هم چنین غنی-شدگی در Cs دیده می‌شود که در کنار ناهنجاری منفی نسبی در Ta، Ti و Nb بیانگر آلودگی ماگمای اولیه با پوسته‌ی زیرین [۲۶] و نیز اختلاط با یک ماگمای دیگر با ترکیب متفاوت است. ناهنجاری منفی عنصر P می‌تواند به دلیل جدایش آپاتیت بوده باشد.

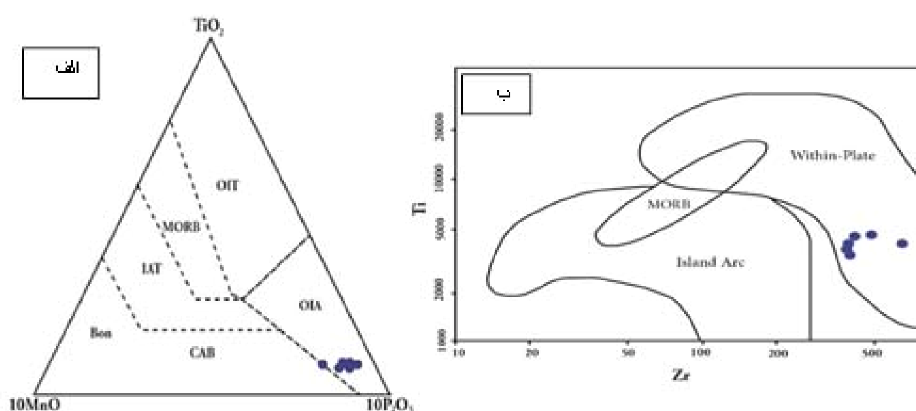
در نمودار عنکبوتی بهنجار شده با کندریت، عنصر باریم ناهنجاری مثبت نشان می‌دهد. باریم از نظر شعاع یونی تنها عنصر اصلی قابل مقایسه با پتاسیم است. باریم از آنجا که دارای ظرفیت بیشتر از پتاسیم است، بنابراین به وسیله ترکیبات پتاسیم‌دار تصرف می‌شود. داده‌های قابل دسترس نشان می-دهند که باریم به نسبت در کانی‌های پتاسیم‌دار که زودتر تشکیل می‌شوند، بیشتر است.

سنگ‌زایی سنگ‌های قلیایی در برگیرنده پیچیده‌ترین مباحث علم سنگ شناسی است و عوامل موثر بر ماگما همچون عمق، فشار، دما، نرخ ذوب‌بخشی، هم‌آمیزی، آلایش، روند دگرگونی‌های عناصراصلی و کمیاب، الگوهای زمین‌ساخت-ماگمایی و رابطه آن با زمان و سرانجام تلفیق این مسائل به طوری که مکمل و تایید کننده یکدیگر باشند در بررسی‌های سنگ‌زایی مورد نظر است [۲۷].

برای تعیین محیط زمین‌ساختی تشکیل ماگمای مولدسنگ-های منطقه، از نمودار مثلثی TiO_2 - 10MnO - 10*P_2O_5 [۲۱]، استفاده شده است (شکل ۵ الف). این نمودار، محیط‌های زمین ساختی مختلف را برای بازالت‌ها با گستره سیلیس ۴۵-۵۴٪ از هم تفکیک می‌کند. البته مقادیر MnO-P_2O_5 برای گسترده کردن گستره در ۱۰ ضرب شده است. این کار گرچه سبب افزایش خطای تجزیه‌ای می‌شود، اما این خطا چندان زیاد نیست و قابل چشم‌پوشی است. نمونه‌های مورد بررسی در ناحیه بازالت‌های قلیایی جزایر اقیانوسی (OIA) قرار می‌گیرند (شکل ۶ الف). همچنین در نمودار دیگری برای تفکیک محیط‌های زمین ساختی بازالت‌های پشته‌های میان اقیانوسی (MORB)، بازالت‌های درون صفحه-ای و جزایر قوسی از هم (شکل ۶ ب) نمونه‌ها در گستره‌ی درون صفحه‌ای قرار می‌گیرند.

ماگماهای قلیایی به شدت زیر اشباع از سیلیس، مانند بازانیت‌ها، تفریت‌ها و انواع مختلف ماگماهای اولیه‌ی غنی از پتاسیم معمولاً درون گوشته بالایی و در عمق دست‌کم ۸۰ کیلومتری تشکیل می‌شوند. با توجه به نسبت‌های زمین-شیمیایی، منبع احتمالی، ماگمای برآمده از گوشته‌ی غنی‌شده، اسپینل- گارنت لرزولیتی (معادل عمق ۹۰ تا ۱۰۰ کیلومتری) بوده است [۲۸].

با توجه به تعداد زیاد سیستم‌های شکستگی و گسلش در ایران مرکزی و شمال غرب ایران و فشار فزاینده و موربی که از حرکت هم‌گرا و دَوَرانی صفحه عربی و در اثر گسترش دریای سرخ به پوسته ایران زمین وارد می‌شود، ترکیب حرکت‌های گسله و راستای توزیع آنها نسبت به تنش بیشینه وارد بر منطقه می‌تواند نقش مهمی در فعالیت ماگمایی، پس از برخورد در ایران داشته باشد.



شکل ۶ الف) نمودار مثلثی TiO_2- 10MnO- 10P_2O_5 [۲۰] که نمونه های منطقه مورد بررسی در ناحیه (OIA)، بازالت های قلیایی جزایر اقیانوسی (OJA) قرار می گیرند. ب) نمودار Ti نسبت به Zr [۲۱]. در هر دو نمودار، نمونه های مورد نظر در گستره درون صفحه قرار می‌گیرند.

[DOI: 10.29252/ijcm.27.1.55]

پیشینه پژوهش‌های صورت گرفته پیرامون جزیره اسلامی نشان‌دهندهٔ این است که این مجموعه در یک قوس ماگمایی پس‌برخوردی شکل گرفته است [۲۸]، اما بیشتر نمودارهای برونزد مورد بررسی نشانگر فعالیت آتشفشانی درون‌صفحه از نوع اقیانوسی هستند (شکل ۶). ماگمای مولد این سنگ‌ها احتمالاً به وسیله‌ی نیروهای کششی به سطح زمین راه پیدا کرده است. برپایه بررسی‌های صحرایی، عارضه زمین ساختی ایجاد شده این شکاف و برآمدگی احتمالاً گسل سارای- آق گنبد، با راستای ENE- WSW است. شکستگی و گسله‌ی یاد شده به صورت کششی عمل کرده است و این امر می‌تواند در ارتباط با بالازدگی منطقه پس از فاز فشاری باشد.

توزیع اندازه‌ی بلور (CSD)

داده‌های CSD بر یک نمودار لگاریتم چگالی انباشتی بلور (n) نسبت به بزرگترین بعد بلور (L) رسم می‌شود. هر دوی این پارامترها زیرمجموعه‌ای از یک پارامتر غنی از اطلاعات، یعنی توزیع اندازه‌ی بلور (CSD) هستند. این پارامتر دو بعد دارد: اندازه و تعداد بلور [۱]. چگالی انباشتی شامل تعداد بلورهای یک کانی در واحد حجم است که گستره‌هایی از اندازه تعریف می‌شود [۲۹، ۳۰]. و از رابطه $n = dn/dl$ به دست می‌آید که در آن n تعداد بلورها و dl اندازه‌ی آن‌هاست. همچنین این پارامتر از رابطه‌ی $n = n_0 \exp(-L/Gt)$ نیز قابل محاسبه است که در آن n^0 میزان هسته‌بندی نهایی (محل تلاقی اندازه دانه-ها با محور چگالی انباشتی) G نرخ رشد بلور و t زمان اقامت بلور است [۱]. عرض از مبداء این خط یا نقطه برخورد آن با محور چگالی انباشتی نیز برابر با چگالی هسته‌بندی اولیه N^0 است. واحد اندازه‌گیری برای اندازه‌ی بلورها mm و برای چگالی انباشتی آنها mm^{-4} است [۳، ۲۹].

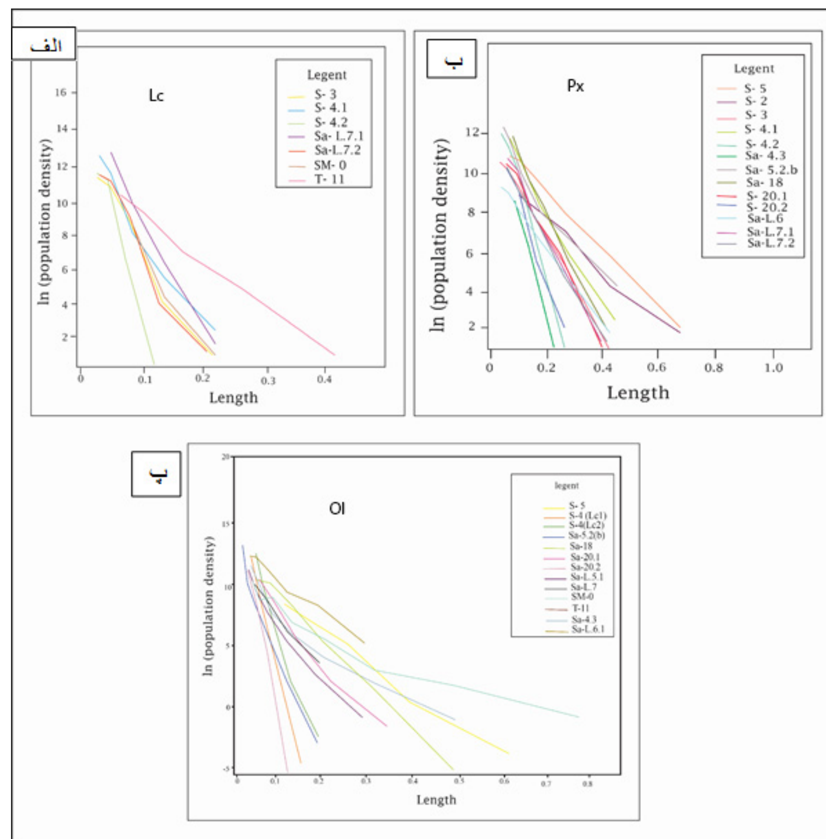
کیفیت CSDها در اصل به اندازه نمونه (تعداد کل بلورها) بستگی دارد. پیچش یا خمیدگی در نمودارهای CSD به فرایندهایی چون انباشتگی و از بین رفتن بلور، تراکم، آمیختگی جمعیت‌های بلوری و هسته بندی نهایی بلور در اثر بازپخت یا بلوغ بافتی استوالد (Ostwald ripening) نسبت داده می‌شود [۳۱]. بخش مستقیم یا کم انحنای CSD می‌تواند وایازش‌دار شده و شیب و محل تقاطع آن تعیین شود. تقاطع منحنی با محور تراکم جمعیت برابر با Ln(n) و شیب آن برابر با $(-1/Gt)$ است. یک بلور با یک Gt بالا بزرگ و یک بلور با یک Gt پایین، کوچک است [۱]. نرخ هسته‌بندی از رابطه‌ی $J = n_0G$ به دست می‌آید که G نرخ رشد و n_0 چگالی هسته‌بندی است. مقادیر نرخ رشد برای کانی‌های مختلف متفاوت است که برای بلورهای لوئیسیت که ساختار مکعبی دارند معادل با ۱:۱:۱، برای بلورهای اولیوین ۱٫۲۵: ۱٫۲۵: ۱ [۱] و برای بلورهای پیروکسن میانگین مقادیری به طور دستی محاسبه کرده‌ایم برابر با ۱:۲:۲ است. محاسبات را برای بلورهای مختلف انجام داده‌ایم [۳۲] و سرانجام نتایج را با هم مقایسه کرده و به برداشت‌های زیر رسیده‌ایم:

لوئیسیت: این کانی بصورت غالب در همه مقاطع میکروسکوپی تهیه شده قابل مشاهده است. نخست از مقاطع میکروسکوپی، شکل این بلورها بطور جداگانه رسم می‌شود. پس از تحلیل تصویر با استفاده از نرم افزار Digimizer، داده‌ها وارد نرم افزار CSD Corrections شده و سرانجام نمودارهای CSD رسم می‌شود (شکل ۷ الف). با استفاده از منحنی‌های رسم شده، می‌توان شیب خط وایازش را مشخص کرده و با در دست داشتن مقادیر G، زمان اقامت ماگما در آشیانه‌های ماگمایی را محاسبه کرد. به علاوه با در دست داشتن پارامترهای لازم می-توان به نرخ هسته‌بندی ماگما پی برد (جدول ۴). گفتنی است که بلورهای لوئیسیت در دو مرحله تبلور یافته‌اند که این موضوع در نمودارهای CSD دیده می‌شود (لوئیسیت‌های ریز و درشت که در شکل ۲ الف به روشنی از هم قابل تفکیک‌اند) و نشان دهنده دو نسل بودن این بلورها و در نتیجه گزارشی از فرایند هم‌آمیزی ماگمایی است. بلورهای لوئیسیت در دو اندازه-ی ریز و درشت متبلور شده‌اند که با این روندهای تبلور متفاوت، بدون شک مقادیر t و J آنها نیز متفاوت است. میانگین زمان تبلور برای بلورهای دانه ریز لوئیسیت در $G = ۱۰^{-۱۱}$:کمتر از ۱۰۰ سال و برای بلورهای دانه درشت لوئیسیت در $G = ۱۰^{-۱۱}$: حدود ۲۰۰ سال و بیشتر است. نرخ هسته‌بندی (J) برای بلورهای دانه ریز لوئیسیت: ۱۱٫۷۱ و برای دانه درشت‌ها ۱۴٫۴ هسته در واحد زمان بوده است.

پیروکسن: کانی پیروکسن در مقاطع مشاهده شده اغلب به عنوان کانی اصلی حضور دارد و در اندازه‌های متغیر ۰٫۲۵ تا ۲ میلی متر دیده شده است. بلورهای پیروکسن اغلب بصورت شکسته‌اند و شکل سالمی از این بلورها وجود ندارد. دلیل آن مربوط به سری بوون است. این کانی در ابتدای سری بوون متبلور می‌شود و ماگمای درحال صعود دستخوش تغییرات و نوسانات مختلفی شده و این بلور که در ماگما متبلور شده

[DOI: 10.29252/ijcm.27.1.55]

است، تحت تأثیر این نوسانات قرار می‌گیرد. براساس نمودارهای CSD بلورهـای پیروکـسن (شـکل ۷ ب). مقـادیر t و J را بـا استفاده از مقادیر G به دست آوردیم (جدول ۵). میانگین زمان تبلور برای بلورهای پیروکسن در $G = 10^{-11}$: حدود ۲۰۰ سـال و نرخ هسته‌بندی (J) برای آنهـا ۱۳٫۴۹هـسته در واحـد زمـان است.



شکل ۷ نمودار پراکندگی اندازه بلور (CSD) برای بلورهای الف) لوئیسیت، ب) پیروکسن و پ) اولیوین.

جدول ۴ داده‌های CSD به دست آمده از بلورهای لوئیسیت منطقه.

دانه‌های درشت			دانه‌های ریز			
زمان اقامت (سال) بر پایه $G = 10^{-11}$	زمان اقامت (سال) بر پایه $G = 10^{-10}$	شیب (-1/Gt)	زمان اقامت (سال) بر پایه $G = 10^{-11}$	زمان اقامت (سال) بر پایه $G = 10^{-10}$	شیب (-1/Gt)	شماره نمونه
			۹۹٫۶	۹٫۹	-۳۲٫۱	**S-5 (Lc)**
			۴۸٫۸	۴٫۸	-۶۵٫۵	**S-4 (Lc)1**
			۶۷٫۰	۶٫۷	-۴۷٫۷	**S-4 (Lc2)**
۲۷۳٫۵	۲۷٫۳	-۱۱٫۷	۹۰٫۱	۹٫۰۱	-۳۵٫۵	**Sa-4.3 (Lc)**
			۹۲٫۷	۹٫۲	-۳۸٫۰	**Sa- 5.2 b(Lc)**
۲۴۲٫۴۲	۲۴٫۲۴	-۱۳٫۲				**Sa-18 (Lc)**
			۹۱٫۶۹	۹٫۱۶	-۳۴٫۹	**Sa- 20 1**
			۸۴٫۶۵	۸٫۴۶	-۳۷٫۸	**Sa- 20 2**
			۹۳٫۲۹	۹٫۳۲	-۳۴٫۳	**Sa- L.5 (Lc)**
۱۹۲٫۴۲	۱۹٫۲۴	-۱۶٫۶۳				**Sa-L.6 (Lc)**
۲۲۳٫۷۷	۲۲٫۳۷	-۱۴٫۳	۸۳٫۹۸	۸٫۳۹	-۳۸٫۱	**Sa- L.7 (Lc)**
۳۳۸٫۶۲	۳۳٫۸۶	-۹٫۴۵	۱۲۲٫۶۰	۱۲٫۲۶	-۲۶٫۱	**SM-0 (Lc)**

[DOI: 10.29252/ijcm.27.1.55]

جدول ۵ داده‌های CSD به دست آمده از بلورهای پیروکسن منطقه.

زمان اقامت (سال) بر پایه $G = 10^{-11}$	مقادیر عرض از مبدا $G = 10^{-10}$	مقادیر عرض از مبدا (Lnn^0) mm^{-4}	شیب (-1/Gt)	
۲۷۱/۱۸	۲۷/۱۱	۱۰/۵۲	-۱۱/۸	S-5 (Px)
۲۶۲/۲۹	۲۶/۲۲	۱۰/۱۳	-۱۲/۲	S-2 (Px)
۱۵۸/۴۱	۱۵/۸۴	۱۲/۲۳	-۲۰/۲	S-3 (Px)
۱۳۶/۷۵	۱۳/۶۷	۱۳/۴۰	-۲۳/۴	S-4 (Px)
۱۷۲/۰۴	۱۷/۲۰	۱۱/۹۵	-۱۸/۶	Sa-4.3 (Px)
۱۴۴/۱۴	۱۴/۴۱	۱۲/۵۹	-۲۲/۲	Sa- 18 (Px)
۱۹۵/۱۲	۱۹/۵۱	۱۱/۵۳	-۱۶/۴	Sa-20 (Px)
۱۷۱/۱۲	۱۷/۱۱	۱۲/۱۰	-۱۸/۷	Sa- 20 (Px)
۱۷۴/۸۶	۱۷/۴	۱۱/۹۷	-۱۸/۳	Sa-L.5 (Px)
۲۳۳/۵۷	۲۳/۳۵	۱۰/۷۳	-۱۳/۷-	Sa-L.6 (Px)
۱۷۴/۸۶	۱۷/۴۸	۱۱/۵۹	-۱۸/۳	Sa-L.7(Px1)
۱۸۷/۱۳	۱۸/۷۱	۱۱/۶۷	-۲۱/۴۷	Sa-L.7 (Px2)
۲۹۹/۰۶	۲۹/۹۰	۹/۴۵	-۱۰/۷	SM-0 (Px)

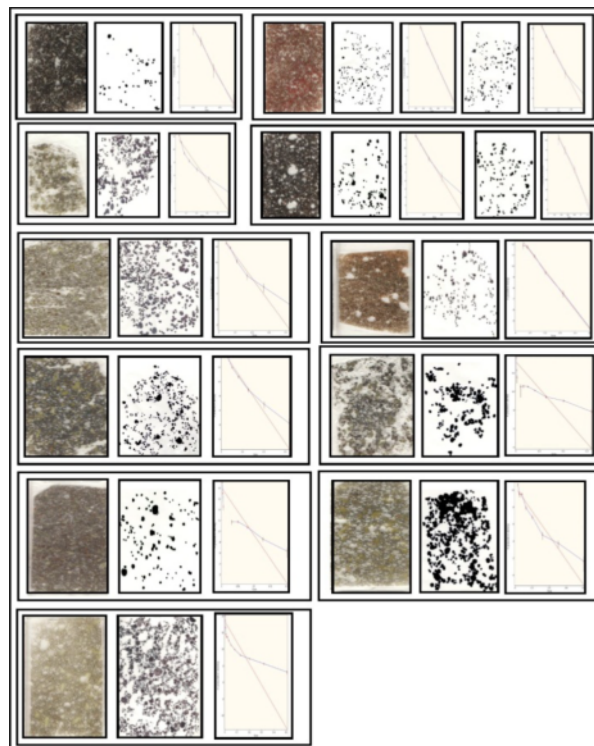
اولیوین: در مقاطع نازک، بلورهای اولیوین بصورت کانی‌های فرعی هستند که در واقع هسته‌ی اصلی این کانی‌ها از بین رفته است و فقط قالب بیرونی آن به جای مانده است. گاهی این بلورها بصورت دگرسان شده دیده می‌شوند. این بلورها در اندازه‌های متوسط ۱ تا ۱/۵ میلی متری در متن سنگ قرار دارند و برای انجام بررسی‌های CSD مناسب هستند. با استفاده از نمودارهای CSD (شکل ۷ پ) و داده‌هایی که از آن به دست آمده است و با در اختیار داشتن مقادیر G، مقادیر t و J محاسبه شدند (جدول ۶). میانگین زمان لازم برای تبلور بلورهای اولیوین در $G=10^{-11}$، حدود ۱۰۰ سال و نرخ هسته‌بندی (J) برای آنها ۱۱/۴۲ هسته در واحد زمان است.

شکل‌های ۸، ۹ و ۱۰ توزیع بلورهای نام برده در سنگ، طرح رسم شده از بلورها و نیز تک تک نمودارهای CSD رسم شده بر پایه آن را برای سه کانی لوئیسیت، پیروکسن و الیوین در سنگ‌های منطقه نشان می‌دهند. نمودارهای ترکیبی توزیع اندازه بلوری برای کانی‌ها در شکل ۷ آمده است. بررسی نتایج به دست آمده از نمودارهای CSD نشان دهنده موارد زیر است: ۱) دو گستره زمانی مختلف حدود ۲۰۰ سال برای تشکیل دانه‌های درشت کمتر از ۱۰۰ سال برای رشد دانه‌های ریز لوئیسیت وجود دارد. این نشانه وجود دو جمعیت آماری از یک کانی در یک سنگ واحد است. این امر می‌تواند به دلیل ترکیب دو ماگمای متفاوت و تداوم تبلور این کانی در هر دو زمان و یا مربوط به تبلور کانی طی دو مرحله انتراتلوریک و هنگام فوران مذاب باشد. ۲) بلورهای پیروکسن زمان تبلور حدود ۲۰۰ سال را برای رشد نشان می‌دهند که مشابه زمان بدست آمده برای بلورهای درشت لوئیسیت است. پیروکسن فقط در یک جمعیت آماری ظاهر شده و نمودار آن خطی است. ۳) بلورهای الیوین در گستره زمانی حدود ۱۰۰ سال متبلور شده و در آشیانه اقامت داشته‌اند که معادل زمان به دست آمده برای لوئیسیت‌های دانه‌ریز است.

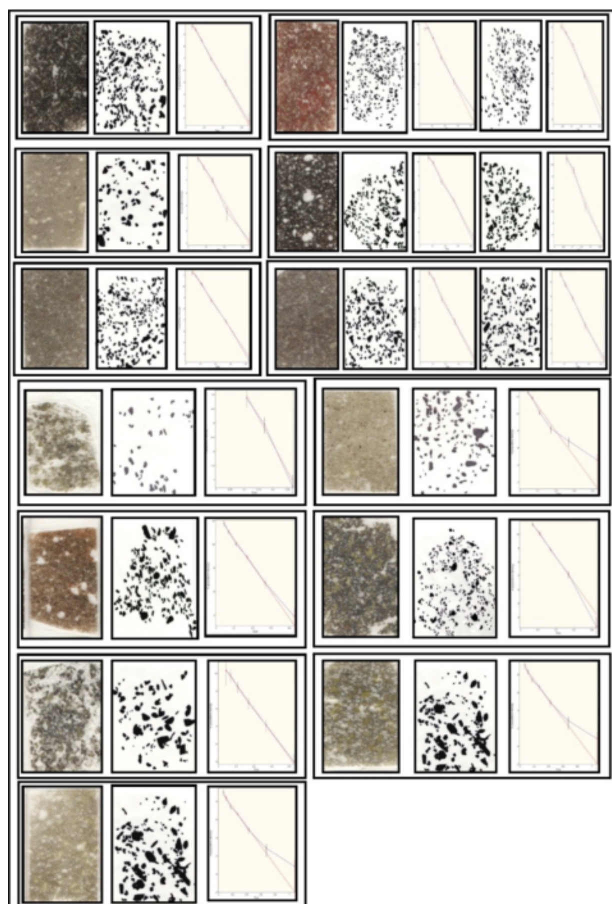
جدول ۶ داده‌های CSD به دست آمده از بلورهای اولیوین در منطقه.

زمان اقامت (سال) بر پایه $G = 10^{-11}$	زمان اقامت (سال) بر پایه $G = 10^{-10}$	مقادیر عرض از مبدا $(Lnn^0)mm^{-4}$	شیب (-1/Gt)	
۱۰۷/۰۲	۱۰/۷۰	۰/۲۱	-۲۹/۹	S-3 (Ol)
۹۳/۰۲	۹/۳۰	۱۴/۳۰	-۳۴/۴	S-4 (Ol1)
۸۴/۲۱	۸/۴۲	۱۴/۶۱	-۳۸/۰	S-4 (Ol2)
۱۰۵/۲۶	۱۰/۵۲	۱۳/۶۷	-۳۰/۴	Sa- L.7 (Ol)
۱۱۳/۰۷	۱۱/۳۰	۱۳/۴۹	-۲۸/۳	Sa- L.7 (Ol2)

[DOI: 10.29252/ijcm.27.1.55]

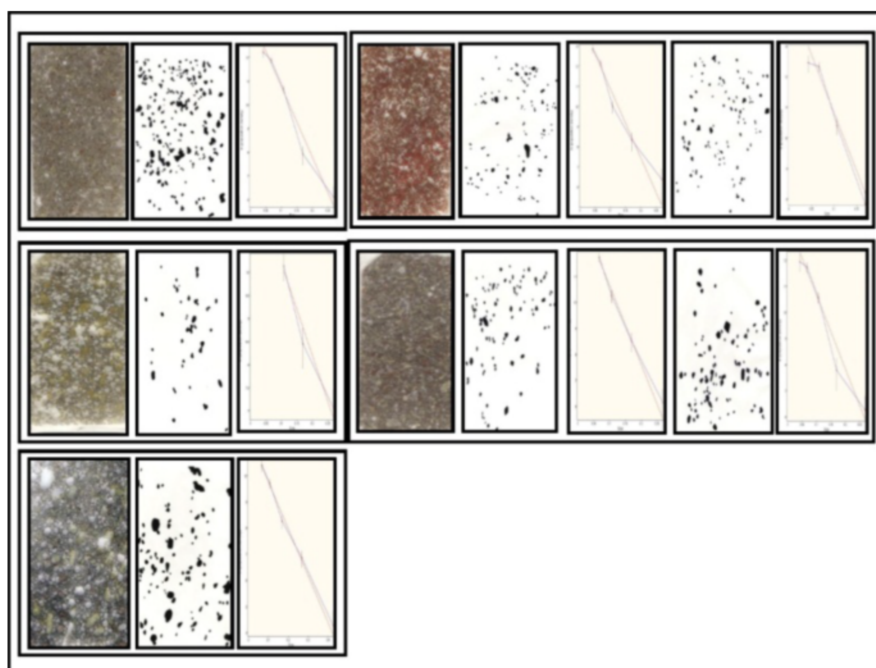


شکل ۸ تصاویر به دست آمده از مقاطع نازک میکروسکوپی، توزیع بلورهای لوئیسیت در این مقاطع و الگوی نمودار CSD بلورهای لوئیسیت.



شکل ۹ تصاویر به دست آمده از مقاطع نازک میکروسکوپی، توزیع بلورهای پیروکسن در این مقاطع و الگوی نمودار CSD بلورهای پیروکسن.

[DOI: 10.29252/ijcm.27.1.55]



شکل ۱۰ تصاویر به دست آمده از مقاطع نازک میکروسکوپی، توزیع بلورهای اولیوین در این مقاطع و الگوی نمودار CSD بلورهای اولیوین.

برداشت

سنگ‌های آتشفشانی مورد بررسی بصورت تپه‌ای هستند که سنگ‌ها حالت متناوب از تفریت فنولیت و لوئیسیتیت را دارند. این تناوب بیانگر آن است که ماگمای خروجی در واحدهای زمانی متفاوت فوران داشته است که طی هریک از این زمان‌ها این گروه‌های سنگی خارج شده‌اند.

ماهیت سنگ‌های مورد نظر قلیایی بوده و جزء سری شوشونیتی و پتاسیم بالا هستند.

غنی‌شدگی از LREE نسبت به HREE نشان دهنده‌ی نرخ ذوب‌بخشی کم در عمق زیاد و حضور گارنت در منبع گوشته‌ای و بالا بودن نسبت CO_2/H_2O در خاستگاه است و منبع احتمالی این سنگ‌ها را گوشته غنی شده، اسپینل-گارنت لرزولیتی با آهنگ ذوب پایین معرفی می‌کند.

نمودارهای تعیین محیط زمین ساختی نشانگر فعالیت آتشفشانی درون صفحه‌ای برای این سنگ‌های زیر اشباع از سیلیس است.

بررسی منحنی‌های CSD برای درشت بلورهای این سنگ‌ها رخداد هم‌آمیزی ماگمایی یا تاریخچه دومرحله‌ای برای تبلور کانی لوئیسیت و ترکیب دو جمعیت آماری از بلورها با هم در یک لانه ماگمایی را تائید می‌کند. برای بلورهای لوئیسیت، این منحنی بصورت شکسته شده و خمیده است که این حالت نشان‌دهنده‌ی احتمال هم‌آمیزی ماگمایی و تبلور این کانی در هر دو مرحله دگرگونی‌های ماگمایی است. احتمال دیگر تبلور این کانی در زمان ماندگاری در آشیانه و نیز اندکی پیش از فوران است. البته با توجه به متن شیشه‌ای سنگ‌ها این احتمال ضعیف تر بنظر می‌رسد، زیرا زمان برای تبلور کافی نبوده است. اگر آشیانه ماگمایی به صورت یک سیستم باز عمل کند، می‌تواند بطور متوالی پر و تغذیه شود. از زمان پرشدگی، عوامل فیزیکی دوسیستمی که روی هم قرار گرفته‌اند با دگرگونی مایعاتی که آنها را تشکیل می‌دهند تغییر می‌کند. اگر بسامد پرشدگی اتاق ماگمایی بالا باشد تعادل برقرار نمی‌شود و ابعاد مختلف بلور واحد قابل مشاهده است؛ در حالیکه برای بلورهای پیروکسن و الیوین خطی بوده و نشانه تبلور این کانی‌ها فقط در یک مرحله از ورود ماگما به لانه ماگمایی است. در فاز نخست ورود ماگما، لوئیستهای دانه درشت و پیروکسن‌ها شروع به تبلور کرده و پس از حدود ۱۰۰ سال تپ بعدی ماگما به آشیانه وارد شده و لوئیستهای دانه ریز و الیوین‌ها (بدلیل تغییر ترکیب و دمای ماگمای آمیخته) متبلور شده‌اند و پس از حدود ۱۰۰ سال خروج ماگما به سطح زمین رخ داده است.

میانگین نرخ هسته‌بندی برای ذرات ریز لوئیسیت و الیوین‌ها یکسان (حدود ۱۱ هسته در واحد زمان) و برای پیروکسن‌ها و لوئیستهای دانه‌درشت نیز یکسان (حدود ۱۴

[DOI: 10.29252/ijcm.27.1.55]

هسته در واحد زمان) بوده است. پس بطور میانگین ۱۲ هسته در واحد زمان در لانه ماگمایی در حال بسته شدن بوده است. این می‌تواند بعنوان یک نتیجه عمومی و برآورد برای تعداد تولید هسته‌های سیلیکاتی در لانه‌های کم عمق و با ترکیب فقیر از سیلیس برای سایر موارد نیز قابل استناد باشد.

قدردانی

بخشی از مقاله حاضر جزو پایان‌نامه های کارشناسی ارشد خانم‌ها شیرین سعیدی و ثمین صالحی بوده است که در دانشگاه ارومیه به انجام رسیده است. نویسنده از حمایت‌های مالی این دانشگاه و نیز از داوران محترم مجله که صرف وقت نموده‌اند قدردانی می‌کند.

مراجع

[1] Higgins M. D., *"Quantitative textural measurement in igneous and metamorphic petrology"*, Cambridge university press, (2006) 265p.

[2] Cashman K.V., Marsh B.D., *"CSD rocks and the kinetics and dynamics of crystallization, II Makaopuhi lava lake"* Contributions to Mineralogy and Petrology, 99 (1988) 292–305.

[3] Marsh B., *"Crystal size distribution (CSD) in rocks and the kinetics and dynamics of crystallization I, Theory"*, Contributions to Mineralogy and Petrology, 99 (1988) 277–291.

[4] Cashman K.V., Ferry J.M., *"CSD in rocks and the kinetics and dynamics of crystallization (III)"*, Contributions to Mineralogy and Petrology, 99 (1988) 401-415.

[5] Marsh B. D., *"Solidification fronts and magmatic evolution"*, Mineralogical Magazine, 60 (1996) 5-40.

[6] Randolph A.D., Larson M.A., *"Theory of Particulate Processes"*, Academic Press, (1971) New York.

[7] Moaazzen M., Modjarrad M., *"Contact metamorphism and crystal size distribution studies in the Shivar aureole, NW Iran"*, Geological Journal, 40 (2005) 499-517.

[8] Modjarrad M., Sheykhbaglou S., *"Crystal Size Distribution of kyanite and staurolite from Hamza Qassim and Khazai Bala Metapelites-southeast Shahin-Dezh; confirmation to regional metamorphism conditions at the area"*, Iranian Journal of Crystallography and Mineralogy, 24 (2015) 99-108.

[9] Homam S.M., *"Crystal size distribution in metamorphic rocks: an example for the relationship between nucleation and growth rates with overstepping"*, Iranian Journal of Crystallography and Mineralogy, 11 (2003) 65-81.

[10] Rahimi-Chakdel A., Boyle A.P., *"Crystal size distribution analysis of quartz in sector- zoned of garnet schist using Back-scatter electron images"*, Iranian Journal of Crystallography and Mineralogy, 20 (2012) 49-58.

[11] Modjarrad M., Shaykhbagluo S., *"Crystal Size Distribution of amphibole and plagioclase from Zanbil adakitic dacites, Urmia-Iran: evidence for magma mixing and textural coarsening"*, Acta Geodynamica Geomaterialia, 13(1) (2016) 89-101.

[12] Modjarrad M., *"Crystal size distribution of amphiboles from Bezow dacites, Urmia, Iran"*, N. Jb. Geol. Palaont. Abh, 276/1 (2015) 101–110.

[13] Ayati F., Mahdevari S., *"Investigation of crystal size distribution in igneous rocks :Guide to the magma evolution in magma chambers"*, Iranian Journal of Crystallography and Mineralogy, 18 (2010) 430-419.

[14] Aghanabati A., *"Geology of Iran"*, Geological Survey of Iran, (2004) 586 p (in Persian).

[15] Moradian A., *"Geochemistry, geochronology and petrography of Eslamy peninsula"*, 4 th symposium of geology of Iran, (2001) COI: SGSI04-175 (in Persian).

[16] Pearce J.A., *"A user's guide to basalt discrimination diagrams. In: Wyman, D.A. (ed.), Trace Element Geochemistry of Volcanic Rocks: Applications for Massive Sulphide Exploration"*, Geological Association of Canada, Short Course Notes, 12 (1996) 79–113.

[17] Hastie A.R., Kerr A.C., Pearce J.A., Mitchell S.F., *"Classification of altered volcanic island arc rocks using immobiletrace elements: development of the Th-Co discrimination diagram"*, Journal of Petrology, 48(12) (2007) 2341-2357.

[18] Nakamura Y., *"Geology and Petrology of Bandai and Nakoma volcanoes"*, Science Reports III 14 (1978) 67- 119.

[19] McDonough W.F., Sun S.S., Ringwood A.E., Jagoutz E., Hofmann A.W., *"Potassium, Rubidium and Cesium in the Earth and Moon and the evolution of the mantle of the Earth"*, Geochimica et Cosmochimica Acta 56 (1992) 1001-1012.

[20] Mullen E.D., *"$MnO/TiO_2/P_2O_5$: a minor element discriminant for basaltic rocks of oceanic environments and its implications for petrogenesis"*, Earth and Planetary Science Letters, 62(1) (1983) 53-62.

[21] Pearce J.A., *"Trace element characteristics of lavas from destructive plate boundaries"*, In:

[28] Salehi Balaneji S., *"Geochemistry and petrogenesis of the western end of Eslami peninsula under-saturated volcanics (East of Urmia Lake)"*, Urmia University, M.S. unpublished thesis, (2017) 64p (in Persian).

[29] Higgins M.D., Roberge J., *"Three magmatic components in the (1973) eruption of El dfell Volcano, Iceland: evidence from plagioclase crystal size distribution (CSD) and geochemistry"*, Journal of Volcanology and Geothermal Researches, 161 (2007) 247–260.

[30] Higgins M.D., *"Closure in crystal size distribution (CSD), verification of CSD calculations and the significance of CSD fans"*, American Mineralogist, 87 (2002) 171–175.

[31] Ying J., Zhang H., Sun M., Tang Y., Zhou X., Liu X., *"Petrology and geochemistry of Zijinshan alkaline intrusive complex in Shanxi Province, western North China Craton: Implication for magma mixing of different sources in an extensional regime"*, Lithos 98 (2007) 45-66.

[32] Saeidi Sh., *"Crystal size distribution (CSD) studies on the volcanic rocks and the effect of bulk rock composition on it; case study on the under-saturated volcanic phenocrystes from east of Urmia Lake"*, Urmia University, M.S. unpublished thesis, (2017), 102p (in Persian).

Thorpe, R.S. (ed.), Andesites: Orogenic Andesites and Related Rocks, Jon Wiley and Sons, New York, (1982) 525-548.

[22] Ewart A., *"The mineralogy and petrology of Tertiary-Recent orogenic volcanic rocks: with special reference to the andesitic-basaltic compositional range"*, Andesites: Orogenic Andesites and Related Rocks, 7 (1982) 25-98.

[23] Machado A., Lima E.F., Chemale F., Morata D., Oteiza O., Almeida D.P.M., Figueiredo A.M.G., Alexandre F.M., Urrutia J.L., *"Geochemistry constraints of Mesozoic–Cenozoic calc-alkaline magmatism in the South Shetland arc, Antarctica"*, Journal of South American Earth Sciences, 18(3) (2005) 407-425.

[24] Krauskopf K.P., Bird D.K., *"Introduction to geochemistry"*, Mc Graw Hill (1976) 788p.

[25] Gill J.B., *"Orogenic Andesites and Plate Tectonics"*, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York (1981) 390p.

[26] Wilson M., *"Igneous Petrogenesis"*, A Global Tectonic Approach. UnwinHyman, London (1989) 466 p.

[27] Moeein Vaziri H. and Ahmadi, A., *"Petrography and petrology of igneous rocks"* , Tarbyat Moallem University Publications, (1999) 530p (in Persian).

[DOI: 10.29252/ijcm.27.1.55]